



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.06.2003 Patentblatt 2003/23

(51) Int Cl.7: **F02M 47/02, F02M 57/02,
F02M 59/36, F02M 45/02,
F02M 45/12**

(21) Anmeldenummer: **02022359.0**

(22) Anmeldetag: **08.10.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder: **Egler, Walter**
70839 Gerlingen (DE)

(74) Vertreter: **Gruber, Peter (DE) et al**
Robert Bosch GmbH
Patentabteilung
Postfach 30 02 20
D-70442 Stuttgart (DE)

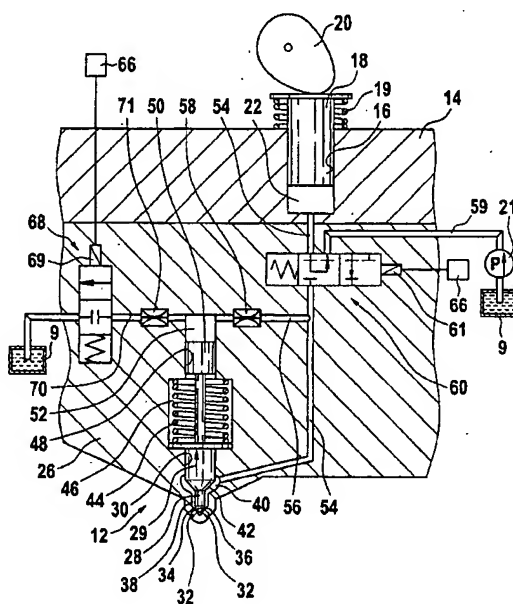
(30) Priorität: **30.11.2001 DE 10158659**

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(54) **Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Brennkraftmaschine**

(57) Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung weist eine Kraftstoffhochdruckpumpe (10) und ein mit dieser verbundenes Kraftstoffeinspritzventil (12) für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine auf. Ein Pumpenarbeitsraum (22) der Kraftstoffhochdruckpumpe (10) ist mit einem Druckraum (40) des Kraftstoffeinspritzventils (12) verbindbar, das ein Einspritzventilglied (28) aufweist, das durch den im Druckraum (40) herrschenden Druck gegen eine Schließkraft (44) in einer Öffnungsrichtung (29) bewegbar ist. Durch ein erstes elektrisch betätigtes Steuerventil (60) wird eine Verbindung (59) des Pumpenarbeitsraums (22) mit einem Entlastungsraum (9) gesteuert und durch ein zweites elektrisch betätigtes Steuerventil (68) wird der in einem Steuerdruckraum (52) herrschende Druck gesteuert, durch den das Einspritzventilglied (28) in Schließrichtung beaufschlagt ist. In einer ersten Schaltstellung ist durch das erste Steuerventil (60) der Pumpenarbeitsraum (22) mit dem Entlastungsraum (9) verbunden, während der Druckraum (40) und der Steuerdruckraum (52) vom Pumpenarbeitsraum (22) getrennt sind und in einer zweiten Schaltstellung ist durch das erste Steuerventil (60) der Pumpenarbeitsraum (22) vom Entlastungsraum (9) getrennt, während der Druckraum (40) und der Steuerdruckraum (52) mit dem Pumpenarbeitsraum (22) verbunden sind.

Fig. 1



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einer Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Brennkraftmaschine nach der Gattung des Anspruchs 1.

[0002] Eine solche Kraftstoffeinspritzeinrichtung ist durch die EP 0 957 261 A1 bekannt. Diese Kraftstoffeinspritzeinrichtung weist eine Kraftstoffhochdruckpumpe und ein mit dieser verbundenes Kraftstoffeinspritzventil für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine auf. Die Kraftstoffhochdruckpumpe weist einen durch die Brennkraftmaschine in einer Hubbewegung angetriebenen Pumpenkolben auf, der einen Pumpenarbeitsraum begrenzt, der mit einem Druckraum des Kraftstoffeinspritzventils verbindbar ist, das ein Einspritzventilglied aufweist, durch das wenigstens eine Einspritzöffnung gesteuert wird und das durch den im Druckraum herrschenden Druck gegen eine Schließkraft in einer Öffnungsrichtung zur Freigabe der wenigstens einen Einspritzöffnung bewegbar ist. Es ist ein erstes elektrisch betätigtes Steuerventil vorgesehen, das zwischen zwei Schaltstellungen umschaltbar ist und durch das eine Verbindung des Pumpenarbeitsraums mit einem Entlastungsraum gesteuert wird. Außerdem ist ein zweites elektrisch betätigtes Steuerventil vorgesehen, durch das der in einem Steuerdruckraum herrschende Druck gesteuert wird, durch den das Einspritzventilglied in Schließrichtung beaufschlagt ist. Der Steuerdruckraum weist dabei eine Verbindung mit dem Pumpenarbeitsraum auf und durch das zweite Steuerventil wird eine Verbindung des Steuerdruckraums mit einem Entlastungsraum gesteuert. Nachteilig bei dieser bekannten Kraftstoffeinspritzeinrichtung ist, daß der Verlauf der Kraftstoffeinspritzung, das ist die eingespritzte Kraftstoffmenge und der Druck, bei dem die Kraftstoffeinspritzung erfolgt, während eines Einspritzzyklus nur eingeschränkt variiert werden kann. Insbesondere ist bei einem Einspritzzyklus mit einer Voreinspritzung und einer nachfolgenden Haupteinspritzung der Druck, bei dem die Haupteinspritzung beginnt, und der zeitliche Abstand zwischen der Haupteinspritzung und der Voreinspritzung miteinander gekoppelt und nicht frei variierbar. Wenn die Haupteinspritzung mit einem geringen Druck beginnen soll, so ist der zeitliche Abstand zur Voreinspritzung gering und wenn die Haupteinspritzung mit hohem Druck beginnen soll, so ist der zeitliche Abstand zur Voreinspritzung lang.

Vorteile der Erfindung

[0003] Die erfindungsgemäße Kraftstoffeinspritzeinrichtung mit den Merkmalen gemäß Anspruch 1 hat demgegenüber den Vorteil, daß durch das erste Steuerventil in dessen erster Schaltstellung im Druckraum und im Steuerdruckraum auch bei mit dem Entlastungsraum verbundenem Pumpenarbeitsraum ein erhöhter

Druck aufrechterhalten werden kann, so daß unabhängig von einer Entlastung des Pumpenarbeitsraums mittels des zweiten Steuerventils eine Kraftstoffeinspritzung, insbesondere für eine Voreinspritzung und/oder eine Nacheinspritzung gesteuert werden kann. Der Druckaufbau für eine Haupteinspritzung kann dabei durch das erste Steuerventil gesteuert werden und der Zeitpunkt, zu dem die Haupteinspritzung beginnt kann durch das zweite Steuerventil gesteuert werden. Es ist dadurch eine Entkopplung zwischen dem Druck, bei dem die Haupteinspritzung beginnt und dem zeitlichen Abstand zu einer vorhergehenden Voreinspritzung ermöglicht.

[0004] In den abhängigen Ansprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Kraftstoffeinspritzeinrichtung angegeben. Die Ausbildung gemäß Anspruch 3 ermöglicht eine gleichzeitige Entlastung des Pumpenarbeitsraums sowie des Druckraums und des Steuerdruckraums. Die Ausbildung gemäß Anspruch 4 ermöglicht auf einfache Weise eine Steuerung des Druckes im Steuerdruckraum. Die Ausbildung gemäß Anspruch 5 ermöglicht eine Einstellung des Kraftstoffzuflusses in den Steuerdruckraum bzw. des Kraftstoffabflusses aus dem Steuerdruckraum. Die Ausbildung gemäß Anspruch 6 ermöglicht einen Betrieb der Brennkraftmaschine mit geringer Geräusch- und Schadstoffemission. Die Ausbildung gemäß Anspruch 9 ermöglicht auf einfache Weise eine Einstellung der Kraftstoffmenge für die Voreinspritzung durch die Zeitdauer, für die das erste Steuerventil geschlossen wird. Die Ausbildung gemäß Anspruch 10 ermöglicht auf einfache und rein mechanische Weise eine Einstellung der Kraftstoffmenge für die Voreinspritzung. Die Ausbildung gemäß Anspruch 14 ermöglicht eine Nacheinspritzung ohne daß während dieser durch den Pumpenkolben Kraftstoff gefördert zu werden braucht. Die Ausbildung gemäß Anspruch 16 ermöglicht auf einfache Weise die Durchführung einer Voreinspritzung. Die Ausbildung gemäß Anspruch 17 ermöglicht eine Entlastung des Druckraums und des Steuerdruckraums.

Zeichnung

[0005] Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Figur 1 eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Brennkraftmaschine in schematischer Darstellung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel, Figur 2 die Kraftstoffeinspritzeinrichtung ausschnittsweise gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, Figur 3 einen Verlauf eines Druckes an Einspritzöffnungen eines Kraftstoffeinspritzventils der Kraftstoffeinspritzeinrichtung während eines Einspritzzyklus und Figur 4 den Verlauf der Geschwindigkeit eines Pumpenkolbens der Kraftstoffeinspritzeinrichtung während eines Einspritzzyklus.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0006] In den Figuren 1 und 2 ist eine Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs dargestellt. Die Brennkraftmaschine ist vorzugsweise eine selbstzündende Brennkraftmaschine. Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung ist vorzugsweise als sogenanntes Pumpe-Düse-System ausgebildet und weist für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine jeweils eine Kraftstoffhochdruckpumpe 10 und ein mit dieser verbundenes Kraftstoffeinspritzventil 12 auf, die zu einer Baueinheit zusammengefasst sind. Alternativ kann die Kraftstoffeinspritzeinrichtung auch als sogenanntes Pumpe-Leitung-Düse-System ausgebildet sein, bei dem ebenfalls für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine die Kraftstoffhochdruckpumpe 10 und das Kraftstoffeinspritzventil 12 vorgesehen sind, die jedoch mit Abstand voneinander angeordnet sind und über eine Leitung miteinander verbunden sind. Die Kraftstoffhochdruckpumpe 10 weist einen in einer Zylinderbohrung 16 eines Pumpenkörpers 14 dicht geführten Pumpenkolben 18 auf, der durch einen Nocken 20 einer Nockenwelle der Brennkraftmaschine direkt oder über ein Übertragungselement, beispielsweise einen Kipphebel, entgegen der Kraft einer Rückstellfeder 19 in einer Hubbewegung angetrieben wird. Der Pumpenkolben 18 begrenzt in der Zylinderbohrung 16 einen Pumpenarbeitsraum 22, in dem beim Förderhub des Pumpenkolbens 18 Kraftstoff unter Hochdruck verdichtet wird. Dem Pumpenarbeitsraum 22 wird mittels des Förderdrucks einer Förderpumpe 21 Kraftstoff aus einem Kraftstoffvorratsbehälter 9 des Kraftfahrzeugs zugeführt.

[0007] Das Kraftstoffeinspritzventil 12 weist einen mit dem Pumpenkörper 14 verbundenen Ventilkörper 26 auf, der mehrteilig ausgebildet sein kann, in dem ein Einspritzventilglied 28 in einer Bohrung 30 längsverschiebbar geführt ist. Der Ventilkörper 26 weist an seinem dem Brennraum des Zylinders der Brennkraftmaschine zugewandten Endbereich wenigstens eine, vorzugsweise mehrere Einspritzöffnungen 32 auf. Das Einspritzventilglied 28 weist an seinem dem Brennraum zugewandten Endbereich eine beispielsweise etwa kegelförmige Dichtfläche 34 auf, die mit einem im Ventilkörper 26 in dessen dem Brennraum zugewandtem Endbereich ausgebildeten Ventilsitz 36 zusammenwirkt, von dem oder nach dem die Einspritzöffnungen 32 abführen. Im Ventilkörper 26 ist zwischen dem Einspritzventilglied 28 und der Bohrung 30 zum Ventilsitz 36 hin ein Ringraum 38 vorhanden, der in seinem dem Ventilsitz 36 abgewandten Endbereich durch eine radiale Erweiterung der Bohrung 30 in einen das Einspritzventilglied 28 umgebenden Druckraum 40 übergeht. Das Einspritzventilglied 28 weist auf Höhe des Druckraums 40 durch eine Querschnittsverringerung eine Druckschulter 42 auf. Am dem Brennraum abgewandten Ende des Einspritzventilglieds 28 greift eine vorgespannte Schließfeder 44 an, durch die das Einspritzventilglied 28 zum Ventilsitz 36 hin gedrückt wird. Die Schließfeder 44 ist

in einem Federraum 46 des Ventilkörpers 26 angeordnet, der sich an die Bohrung 30 anschließt.

[0008] An den Federraum 46 schließt sich an dessen der Bohrung 30 abgewandtem Ende im Ventilkörper 26 eine weitere Bohrung 48 an, in der ein Kolben 50 dicht geführt ist, der mit dem Einspritzventilglied 28 verbunden ist. Der Kolben 50 begrenzt mit seiner dem Einspritzventilglied 28 abgewandten Stirnseite einen Steuerdruckraum 52. Der Druckraum 40 weist eine Verbindung 54 mit dem Pumpenarbeitsraum 22 auf, die durch einen durch den Pumpenkörper 14 und den Ventilkörper 26 verlaufenden Kanal gebildet ist. Die Verbindung 54 wird nachfolgend als Druckraumverbindung 54 bezeichnet. Von der Druckraumverbindung 54 zweigt eine Verbindung 56 zum Steuerdruckraum 52 ab, so daß der Steuerdruckraum 52 ebenfalls mit dem Pumpenarbeitsraum 22 verbunden ist. Die Verbindung 56 wird nachfolgend als Steuerdruckraumverbindung 56 bezeichnet.

[0009] Die Kraftstoffeinspritzeinrichtung weist ein erstes elektrisch betätigtes Steuerventil 60 auf, durch das eine Verbindung 59 des Pumpenarbeitsraums 22 mit einem Entlastungsraum gesteuert wird, als der die Druckseite der Förderpumpe 21 und damit zumindest mittelbar der Kraftstoffvorratsbehälter 9 dienen kann. Die Verbindung 59 wird nachfolgend als Entlastungsraumverbindung 59 bezeichnet. Das erste Steuerventil 60 ist stromaufwärts vor der zum Steuerdruckraum 52 führenden Steuerdruckraumverbindung 56 in der Druckraumverbindung 54 angeordnet.

[0010] Das erste Steuerventil 60 weist einen Aktor 61 auf, der ein Elektromagnet oder ein Piezoaktor sein kann, der elektrisch angesteuert wird und durch den ein Ventilglied des Steuerventils 60 bewegbar ist. Das erste Steuerventil 60 kann druckausgeglichen oder nicht druckausgeglichen ausgebildet sein. Das erste Steuerventil 60 ist bei einem in Figur 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel als ein 3/2-Wegeventil ausgebildet und dieses ist zwischen zwei Schaltstellungen umschaltbar. Durch das erste Steuerventil 60 wird in einer ersten Schaltstellung die Entlastungsraumverbindung 59 zum Entlastungsraum 9 geöffnet, so daß der Pumpenarbeitsraum 22 mit dem Entlastungsraum 9 verbunden ist, während der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 vom Pumpenarbeitsraum 22 getrennt sind. In einer zweiten Schaltstellung wird durch das erste Steuerventil 60 die Entlastungsraumverbindung 59 zum Entlastungsraum 9 getrennt, so daß der Pumpenarbeitsraum 22 vom Entlastungsraum 9 getrennt ist, während der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 mit dem Pumpenarbeitsraum 22 verbunden sind. Das erste Steuerventil 60 wird durch eine elektrische Steuereinrichtung 66 in Abhängigkeit von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine zwischen seinen beiden Schaltstellungen umgeschaltet.

[0011] Zur Steuerung des Druckes im Steuerdruckraum 52 ist ein zweites elektrisch betätigtes Steuerventil 68 vorgesehen, durch das eine Verbindung 70 des Steuerdruckraums 52 mit einem Entlastungsraum, beispiels-

weise zumindest mittelbar dem Kraftstoffvorratsbehälter 9, gesteuert wird. Die Verbindung 70 wird nachfolgend als Entlastungsraumverbindung 70 bezeichnet. Das zweite Steuerventil 68 weist einen Aktor 69 auf, der ein Elektromagnet oder ein Piezoaktor sein kann, der elektrisch angesteuert wird und durch den ein Ventili-glied des Steuerventils 68 bewegbar ist. Das zweite Steuerventil 68 ist vorzugsweise druckausgeglichen ausgebildet. Das zweite Steuerventil 68 ist als ein 2/2-Wegeventil ausgebildet, durch das in einer ersten Schaltstellung die Entlastungsraumverbindung 70 des Steuerdruckraums 52 mit dem Entlastungsraum 9 geöffnet ist und durch das in einer zweiten Schaltstellung die Entlastungsraumverbindung 70 des Steuerdruckraums 52 mit dem Entlastungsraum 9 getrennt ist. In der Steuerdruckraumverbindung 56 des Steuerdruckraums 52 mit der Druckraumverbindung 54 ist eine Drosselstelle 58 vorgesehen und in der Entlastungsraumverbindung 70 des Steuerdruckraums 52 mit dem Entlastungsraum 9 ist eine weitere Drosselstelle 71 vorgesehen. Die Drosselstellen 58,71 ermöglichen eine Einstellung des Zuflusses von Kraftstoff in den Steuerdruckraum 52 bzw. des Abflusses von Kraftstoff aus dem Steuerdruckraum 52. Das zweite Steuerventil 68 wird ebenfalls durch die Steuereinrichtung 66 gesteuert. Die Steuerung der Steuerventile 60,68 durch die Steuereinrichtung 66 erfolgt abhängig von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine, wie beispielsweise Drehzahl, Last und Temperatur.

[0012] Nachfolgend wird die Funktion der Kraftstoffeinspritzeinrichtung erläutert. Beim Saughub des Pumpenkolbens 18 wird durch die Förderpumpe 21 bei sich in seiner ersten Schaltstellung befindendem erstem Steuerventil 60, in der der Pumpenarbeitsraum 22 mit der Förderpumpe 21 verbunden und vom Druckraum 40 und vom Steuerdruckraum 52 getrennt ist, Kraftstoff dem Pumpenarbeitsraum 22 zugeführt. Beim Förderhub des Pumpenkolbens 18 erfolgt in einem Einspritzzyklus eine Kraftstoffeinspritzung. Der Einspritzzyklus beginnt mit einer Voreinspritzung, bei der mit relativ geringem Druck eine geringe Kraftstoffmenge eingespritzt wird. Zum Beginn des Förderhubs des Pumpenkolbens 18 wird das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 in seine zweite Schaltstellung gebracht, so daß der Pumpenarbeitsraum 22 vom Entlastungsraum 9 getrennt ist und der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 mit dem Pumpenarbeitsraum 22 verbunden sind. Das zweite Steuerventil 68 wird durch die Steuereinrichtung 66 geschlossen. Durch den Pumpenkolben 18 wird dabei Kraftstoff in den Druckraum 40 und den Steuerdruckraum 52 gefördert. Das Kraftstoffeinspritzventil 12 bleibt währenddessen infolge des bei geschlossenem zweitem Steuerventil 68 im Steuerdruckraum 52 herrschenden Drucks geschlossen. Nach einer bestimmten Zeitdauer wird durch die Steuereinrichtung 66 das erste Steuerventil 60 in seine erste Schaltstellung gebracht, so daß der Pumpenarbeitsraum 22 mit dem Entlastungsraum 9 verbunden ist und der Druck-

raum 40 und der Steuerdruckraum 52 vom Pumpenarbeitsraum 22 getrennt sind. Im Druckraum 40 und dem Steuerdruckraum 52 bleibt somit Kraftstoff unter Druck gespeichert. Zu einem vorgegebenen Zeitpunkt wird durch die Steuereinrichtung 66 das zweite Steuerventil 68 geöffnet, so daß der Steuerdruckraum 52 entlastet ist und das Einspritzventilglied 28 durch den im Druckraum 40 herrschenden Druck öffnet. Die Voreinspritzung erfolgt mit dem Druckniveau, unter dem der Kraftstoff im Druckraum 40 gespeichert ist. Zur Beendigung der Voreinspritzung wird das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 wieder geschlossen, so daß das Einspritzventilglied 28 infolge des erhöhten Drucks im Steuerdruckraum 52 schließt. Es können auch mehrere voneinander abgesetzte Voreinspritzungen durch entsprechendes Öffnen und Schließen des zweiten Steuerventils 68 erfolgen.

[0013] In Figur 3 ist der Verlauf des Druckes p an den Einspritzöffnungen 32 des Kraftstoffeinspritzventils 12 über der Zeit t während einem Einspritzzyklus dargestellt. Die Voreinspritzung entspricht dabei einer in Figur 3 mit I bezeichneten Einspritzphase.

[0014] Alternativ kann zur Voreinspritzung auch vorgesehen sein, daß das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 zu Beginn des Förderhubs des Pumpenkolbens 18 in seine zweite Schaltstellung gebracht wird, so daß der Pumpenkolben 18 bei geschlossenem zweitem Steuerventil 68 Kraftstoff in den Druckraum 40 und den Steuerdruckraum 52 fördert. Zu einem bestimmten Zeitpunkt, wenn durch den Pumpenkolben 18 eine bestimmte Kraftstoffmenge in den Druckraum 40 und den Steuerdruckraum 52 gefördert wurde, wird das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 in seine erste Schaltstellung gebracht, so daß der Pumpenarbeitsraum 22 entlastet ist und der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 vom Pumpenarbeitsraum 22 getrennt sind und Kraftstoff unter Druck im Druckraum 40 und im Steuerdruckraum 52 gespeichert bleibt. Zu einem vorgegebenen Zeitpunkt wird durch die Steuereinrichtung 66 das zweite Steuerventil 68 geöffnet, so daß der Steuerdruckraum 52 entlastet ist und das Einspritzventilglied 28 durch den im Druckraum 40 herrschenden Druck öffnet. Die Voreinspritzung wird beendet, wenn der Druck im Druckraum 40 so stark gesunken ist, daß die durch die Schließfeder 44 auf das Einspritzventilglied 28 ausgeübte Kraft größer ist als die durch den im Druckraum 40 herrschenden Druck in Öffnungsrichtung auf das Einspritzventilglied 28 bewirkte Kraft und das Einspritzventilglied 28 schließt.

[0015] Weiterhin alternativ kann auch vorgesehen sein, daß von einem vorhergehenden Einspritzzyklus bei geschlossenem zweitem Steuerventil 68 noch Kraftstoff im Druckraum 40 und im Steuerdruckraum 52 unter einem Druck gespeichert ist, der ausreichend hoch ist, um durch Öffnen des zweiten Steuerventils 68 eine Voreinspritzung durchzuführen. Zu Beginn des Förderhubs des Pumpenkolbens 18 kann dabei das erste Steuerventil 60 in seiner ersten Schaltstellung bleiben, da kein

Kraftstoff in den Druckraum 40 und den Steuerdruckraum 52 gefördert zu werden braucht. Die Voreinspritzung wird beendet, indem das zweite Steuerventil 68 geschlossen wird und/oder wenn der Druck im Druckraum 40 so stark gesunken ist, daß das Einspritzventilglied 28 durch die Schließfeder 44 geschlossen wird.

[0016] Weiterhin alternativ kann vorgesehen sein, daß das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 zum Beginn des Förderhubs des Pumpenkolbens 18 in seine zweite Schaltstellung gebracht wird, so daß der Pumpenarbeitsraum 22 vom Entlastungsraum 9 getrennt ist und mit dem Druckraum 40 und dem Steuerdruckraum 52 verbunden ist. Der Nocken 20 weist eine derartige Form auf, daß durch diesen über einen ersten Drehwinkelbereich ein Förderhub des Pumpenkolbens 18 bewirkt wird, so daß durch den Pumpenkolben 18 Kraftstoff in den Druckraum 40 und den Steuerdruckraum 52 bei geschlossenem zweitem Steuerventil 68 gefördert wird. In einem anschließenden Drehwinkelbereich des Nockens 20 ist dieser derart geformt, daß kein weiterer Förderhub des Pumpenkolbens 18 erfolgt. Die Geschwindigkeit C des Pumpenkolbens 18 bei dessen durch den Nocken 20 bewirkter Hubbewegung über dem Drehwinkel ϕ des Nockens 20 ist in Figur 4 dargestellt, wobei die Geschwindigkeit beim durch den ersten Drehwinkelbereich bewirkten Hub mit I bezeichnet ist, die Geschwindigkeit beim nachfolgenden Drehwinkelbereich des Nockens 20 ist Null und die Geschwindigkeit bei durch einen weiteren Drehwinkelbereich des Nockens 20 während einer Haupteinspritzung bewirkten Hubs mit II bezeichnet ist. Durch die Form des Nockens 20 im ersten Drehwinkelbereich und den dabei bewirkten Hub des Pumpenkolbens 18 wird die Kraftstoffmenge bestimmt, die vom Pumpenkolben 18 in den Druckraum 40 und den Steuerdruckraum 52 gefördert wird. Zur Voreinspritzung wird das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 geöffnet und die Voreinspritzung ist beendet, wenn das zweite Steuerventil 68 geschlossen wird und/oder wenn der Druck im Druckraum 40 so stark gesunken ist, daß das Einspritzventilglied 28 durch die Kraft der Schließfeder 44 geschlossen wird.

[0017] Nach der Voreinspritzung wird das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 in seine zweite Schaltstellung gebracht und das zweite Steuerventil 68 wird durch die Steuereinrichtung 66 geschlossen. Beim Förderhub des Pumpenkolbens 18 wird im Druckraum 40 und im Steuerdruckraum 52 Hochdruck aufgebaut, wobei jedoch noch keine Einspritzung erfolgen kann solange das zweite Steuerventil 68 noch geschlossen ist und im Steuerdruckraum 52 Hochdruck herrscht. Wenn im Druckraum 40 ein vorgegebener Druck erreicht ist, bei dem die Haupteinspritzung beginnen soll, so wird durch die Steuereinrichtung 66 das zweite Steuerventil 68 geöffnet, so daß der Steuerdruckraum 52 entlastet ist. Das Einspritzventilglied 28 öffnet dann durch den im Druckraum 40 herrschenden Druck und die Haupteinspritzung beginnt. Die Haupteinspritzung

entspricht einer in Figur 3 mit II bezeichneten Einspritzphase. Zur Beendigung der Haupteinspritzung wird das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 geschlossen, so daß der Steuerdruckraum 52 vom Entlastungsraum 9 getrennt ist und sich im Steuerdruckraum 52 Hochdruck aufbaut, durch den das Einspritzventilglied 28 geschlossen wird. Zusätzlich kann bei Beendigung der Haupteinspritzung auch das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 in seine erste Schaltstellung gebracht werden.

[0018] Mit einer Variation des Zeitpunkts des Öffnens des zweiten Steuerventils 68 durch die Steuereinrichtung 66 wird auch der Druck variiert, bei dem die Haupteinspritzung beginnt. Je früher das zweite Steuerventil 68 geöffnet wird, desto geringer ist der Druck, bei dem die Haupteinspritzung beginnt. Je später das zweite Steuerventil 68 geöffnet wird, desto höher ist der Druck, bei dem die Haupteinspritzung beginnt. Durch die vorstehend erläuterten Verfahrensweisen zur Voreinspritzung ist es möglich, den zeitlichen Abstand T zwischen der Voreinspritzung und der Haupteinspritzung bei einer Variation des Druckes, bei dem die Haupteinspritzung beginnt, unabhängig von diesem Druck zu variieren. Der Druckaufbau für die Haupteinspritzung wird dabei durch das erste Steuerventil 60 gesteuert. Wenn die Haupteinspritzung mit hohem Druck beginnen soll, so wird das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 nach der Voreinspritzung zu einem frühen Zeitpunkt von seiner ersten Schaltstellung in seine zweite Schaltstellung umgeschaltet, so daß ein Druckaufbau erfolgt. Der zeitliche Abstand der Haupteinspritzung von der Voreinspritzung wird durch den Zeitpunkt des Öffnens des zweiten Steuerventils 68 durch die Steuereinrichtung 66 bestimmt. Wenn die Haupteinspritzung mit einem geringen Druck beginnen soll, so wird das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 nach der Voreinspritzung zu einem späteren Zeitpunkt geschlossen, so daß ein entsprechend verzögerter Druckaufbau erfolgt. Der zeitliche Abstand der Haupteinspritzung von der Voreinspritzung wird wiederum durch den Zeitpunkt des Öffnens des zweiten Steuerventils 68 bestimmt.

[0019] Alternativ kann auch vorgesehen sein, daß das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 schon vor Beginn der Haupteinspritzung geöffnet wird, so daß der Steuerdruckraum 52 entlastet ist. Das erste Steuerventil 60 wird durch die Steuereinrichtung 66 in seine zweite Schaltstellung gebracht und die Haupteinspritzung beginnt, wenn der Druck im Druckraum 40 so hoch ist, daß dieser das Einspritzventilglied 28 gegen die Kraft der Schließfeder 44 öffnet. Zur Beendigung der Haupteinspritzung wird das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 geschlossen und/oder das erste Steuerventil 60 wird in seine erste Schaltstellung gebracht.

[0020] Nach der Haupteinspritzung kann noch wenigstens eine Nacheinspritzung erfolgen. Nach Beendigung der Haupteinspritzung kann bei geschlossenem zweitem Steuerventil 68 und bei sich in seiner ersten

Schaltstellung befindendem erstem Steuerventil 60 Kraftstoff im Druckraum 40 und im Steuerdruckraum 52 gespeichert werden. Die Höhe des Drucks, unter dem der Kraftstoff gespeichert ist, wird durch den Zeitpunkt des Schließens des zweiten Steuerventils 68 bei der Beendigung der Haupteinspritzung bestimmt. Je früher das zweite Steuerventil 68 geschlossen wird, desto höher ist der Druck, unter dem der Kraftstoff im Druckraum 40 und im Steuerdruckraum 52 gespeichert ist. Für eine Nacheinspritzung wird das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 nochmals geöffnet, so daß der Steuerdruckraum 52 wieder entlastet ist und das Einspritzventilglied 28 öffnet. Die Nacheinspritzung entspricht einer in Figur 3 mit III bezeichneten Einspritzphase. Die Nacheinspritzung wird beendet, indem das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 geschlossen wird. Es können auch mehrere aufeinanderfolgende Nacheinspritzungen erfolgen. Der bei der Nacheinspritzung eingespritzte Kraftstoff braucht nicht zum Zeitpunkt der Nacheinspritzung durch den Pumpenkolben 18 gefördert werden, sondern wird dem Druckraum 40 und dem Steuerdruckraum 52 entnommen, in die der Kraftstoff durch den Pumpenkolben 18 schon in einer früheren Phase von dessen Förderhub gefördert wurde. Das erste Steuerventil 60 kann nach Beendigung der Haupteinspritzung in seiner ersten Schaltstellung bleiben.

[0021] Alternativ kann zur Nacheinspritzung auch das erste Steuerventil 60 durch die Steuereinrichtung 66 in seine zweite Schaltstellung gebracht werden, so daß durch den Pumpenkolben 18 Kraftstoff in den Druckraum 40 gefördert wird. Wenn im Druckraum 40 und dem Steuerdruckraum 52 von der vorhergehenden Haupteinspritzung noch Kraftstoff gespeichert ist, so braucht durch den Pumpenkolben 18 während der Nacheinspritzung nur ein Teil der für die Nacheinspritzung erforderlichen Kraftstoffmenge gefördert zu werden. Wenn bei geöffnetem zweitem Steuerventil 68 und damit entlastetem Steuerdruckraum 52 der Druck im Druckraum 40 so hoch ist, daß die Öffnungskraft auf das Einspritzventilglied 28 größer ist als die auf dieses wirkende Schließkraft, so beginnt die Nacheinspritzung. Die Nacheinspritzung wird beendet, indem das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 geschlossen wird und/oder wenn der Druck im Druckraum 40 so stark gesunken ist, daß die Schließkraft auf das Einspritzventilglied 28 größer ist als die durch den Druck im Druckraum 40 erzeugte Öffnungskraft und das Einspritzventilglied 28 schließt.

[0022] Nach Beendigung der Nacheinspritzung bzw. der Haupteinspritzung, wenn keine Nacheinspritzung vorgesehen ist, kann im Druckraum 40 und im Steuerdruckraum 52 noch Kraftstoff unter Druck gespeichert sein, mit dem beim anschließenden Einspritzzyklus wie vorstehend angegeben eine Voreinspritzung erfolgen kann. Dies erfordert eine wirkungsvolle Abdichtung des Druckraums 40 und des Steuerdruckraums 52, damit durch Leckage kein wesentlicher Druckabfall auftritt.

Bei geringer Drehzahl der Brennkraftmaschine, wenn die Zeitdauer eines Einspritzzyklus entsprechend lang ist, kann infolge einer Leckage der Druck im Druckraum 40 und im Steuerdruckraum 52 stark absinken, wobei der Druck jedoch vorzugsweise wenigstens auf dem von der Förderpumpe 21 erzeugten Druckniveau gehalten wird. Es kann auch vorgesehen sein, daß zur Beendigung der Haupteinspritzung bzw. der Nacheinspritzung das zweite Steuerventil 68 durch die Steuereinrichtung 66 geschlossen wird und solange geschlossen bleibt, bis der Druck im Druckraum 40 infolge der Leckage so stark gesunken ist, daß das Einspritzventilglied 28 auch bei geöffnetem zweitem Steuerventil 68 nicht mehr öffnen kann. Anschließend wird das zweite Steuerventil 68 kurzzeitig geöffnet, so daß der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 entlastet werden.

[0023] In Figur 2 ist die Kraftstoffeinspritzeinrichtung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel dargestellt, bei der gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel nur die Ausbildung des ersten Steuerventils 160 modifiziert ist. Das erste Steuerventil 160 ist dabei als 3/3-Wegeventil ausgebildet und ist zwischen drei Schaltstellungen umschaltbar. In einer ersten Schaltstellung des Steuerventils 160 ist durch dieses der Pumpenarbeitsraum 22 mit der Förderpumpe 21 bzw. dem Entlastungsraum 9 verbunden und der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 sind vom Pumpenarbeitsraum 22 getrennt. In einer zweiten Schaltstellung des Steuerventils 160 ist durch dieses der Pumpenarbeitsraum 22 von der Förderpumpe 21 bzw. dem Entlastungsraum 9 getrennt und der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 sind mit dem Pumpenarbeitsraum 22 verbunden. In einer dritten Schaltstellung des Steuerventils 160 ist durch dieses der Pumpenarbeitsraum 22 mit der Förderpumpe 21 bzw. dem Entlastungsraum 9 verbunden und der Druckraum 40 und der Steuerdruckraum 52 sind ebenfalls mit der Förderpumpe 21 bzw. dem Entlastungsraum 9 verbunden. Die erste Schaltstellung des Steuerventils 160 hat somit die gleiche Funktion wie die erste Schaltstellung des Steuerventils 60 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel und die zweite Schaltstellung des Steuerventils 160 hat die gleiche Funktion wie die zweite Schaltstellung des Steuerventils 60 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel. Die vorstehend zum ersten Ausführungsbeispiel erläuterte Funktionsweise der Kraftstoffeinspritzeinrichtung kann somit auch mit dem Steuerventil 160 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel erreicht werden. Mit der dritten Schaltstellung des Steuerventils 160 ist eine Entlastung des Pumpenarbeitsraums 22 sowie des Druckraums 40 und des Steuerdruckraums 52 ermöglicht. Es kann vorgesehen sein, daß das erste Steuerventil 160 zur Beendigung einer Kraftstoffeinspritzung, das heißt der Voreinspritzung und/oder der Haupteinspritzung und/oder der Nacheinspritzung, durch die Steuereinrichtung 66 in seine dritte Schaltstellung gebracht wird, wodurch eine schnelle Entlastung des Druckraums 40 und des Steuerdruckraums 52 erreicht wird und damit ein schnelles Schlie-

ßen des Einspritzventilglieds 28 zur Beendigung der Kraftstoffeinspritzung. Es kann vorgesehen sein, daß zur Umschaltung des ersten Steuerventils 160 dessen Aktor 161 durch die Steuereinrichtung 66 mit unterschiedlichen Stromniveaus bestromt wird. Wenn der Aktor 161 stromlos ist, so befindet sich das Steuerventil 160 in seiner ersten Schaltstellung, wenn der Aktor 161 mit einem erhöhten Stromniveau bestromt wird, so wird das Steuerventil 160 in seine dritte Schaltstellung umgeschaltet und wenn der Aktor 161 mit einem nochmals erhöhten Stromniveau bestromt wird, so wird das Steuerventil 160 in seine zweite Schaltstellung umgeschaltet.

Patentansprüche

1. Kraftstoffeinspritzeinrichtung für eine Brennkraftmaschine mit einer Kraftstoffhochdruckpumpe (10) und einem mit dieser verbundenen Kraftstoffeinspritzventil (12) für jeden Zylinder der Brennkraftmaschine, wobei die Kraftstoffhochdruckpumpe (10) einen durch die Brennkraftmaschine in einer Hubbewegung angetriebenen Pumpenkolben (18) aufweist, der einen Pumpenarbeitsraum (22) begrenzt, der mit einem Druckraum (40) des Kraftstoffeinspritzventils (12) verbindbar ist, das ein Einspritzventilglied (28) aufweist, durch das wenigstens eine Einspritzöffnung (32) gesteuert wird und das durch den im Druckraum (40) herrschenden Druck gegen eine Schließkraft (44) in einer Öffnungsrichtung (29) zur Freigabe der wenigstens einen Einspritzöffnung (32) bewegbar ist, mit einem ersten elektrisch betätigten Steuerventil (60;160), das zwischen wenigstens zwei Schaltstellungen umschaltbar ist und durch das zumindest mittelbar eine Verbindung (59) des Pumpenarbeitsraums (22) mit einem Entlastungsraum (9;21) gesteuert wird und mit einem zweiten elektrisch betätigten Steuerventil (68), durch das der in einem Steuerdruckraum (52) herrschende Druck gesteuert wird, durch den das Einspritzventilglied (28) zumindest mittelbar in Schließrichtung beaufschlagt ist, **dadurch gekennzeichnet, daß** in einer ersten Schaltstellung durch das erste Steuerventil (60;160) der Pumpenarbeitsraum (22) mit dem Entlastungsraum (9;21) verbunden ist, während der Druckraum (40) und der Steuerdruckraum (52) vom Pumpenarbeitsraum (22) getrennt sind und daß in einer zweiten Schaltstellung durch das erste Steuerventil (60;160) der Pumpenarbeitsraum (22) vom Entlastungsraum (9;21) getrennt ist, während der Druckraum (40) und der Steuerdruckraum (52) mit dem Pumpenarbeitsraum (22) verbunden sind.
2. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das erste Steuerventil (60) als 3/2-Wegeventil ausgebildet ist, das nur zwei

schen der ersten und zweiten Schaltstellung umschaltbar ist.

3. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das erste Steuerventil (160) als 3/3-Wegeventil ausgebildet ist, das zusätzlich in eine dritte Schaltstellung umschaltbar ist, in der der Pumpenarbeitsraum (22) mit dem Entlastungsraum (9;21) verbunden ist sowie der Druckraum (40) und der Steuerdruckraum (52) mit einem Entlastungsraum (9) verbunden sind.
4. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** durch das zweite Steuerventil (68) eine Entlastungsraumverbindung (70) des Steuerdruckraums (52) mit einem Entlastungsraum (9) gesteuert wird und daß der Steuerdruckraum (52) eine von der Druckraumverbindung (54) des Pumpenarbeitsraums (22) mit dem Druckraum (40) stromabwärts nach dem ersten Steuerventil (60;160) abführende Steuerdruckraumverbindung (56) mit der Druckraumverbindung (54) aufweist.
5. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** in der Entlastungsraumverbindung (70) des Steuerdruckraums (52) mit dem Entlastungsraum (9) und/oder in der Steuerdruckraumverbindung (56) des Steuerdruckraums (52) mit der Druckraumverbindung (54) eine Drosselstelle (58;71) vorgesehen ist.
6. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** zu Beginn eines Förderhubs des Pumpenkolbens (18) das erste Steuerventil (60) in seine zweite Schaltstellung gebracht wird und das zweite Steuerventil (68) geschlossen wird, so daß Kraftstoff in den Druckraum (40) und den Steuerdruckraum (52) gefördert wird, daß im Verlauf des Förderhubs des Pumpenkolbens (18) das erste Steuerventil (60;161) in seine erste Schaltstellung gebracht wird, und daß für wenigstens eine Voreinspritzung das zweite Steuerventil (68) geöffnet wird, so daß der Steuerdruckraum (52) entlastet ist und das Einspritzventilglied (28) durch den im Druckraum (40) herrschenden Druck öffnet.
7. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Beendigung der wenigstens einen Voreinspritzung das zweite Steuerventil (68) geschlossen wird, so daß das Einspritzventilglied (28) durch den im Steuerdruckraum (52) herrschenden Druck schließt.
8. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die wenigstens eine Voreinspritzung beendet wird, wenn der im Druck-

raum (40) herrschende Druck so stark gesunken ist, daß das Einspritzventilglied (28) durch die Schließkraft (44) schließt.

9. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** das erste Steuerventil (60;160) beim Förderhub des Pumpenkolbens (18) für eine definierte Zeitdauer in seiner zweiten Schaltstellung gehalten wird, um eine definierte Kraftstoffmenge in den Druckraum (40) und den Steuerdruckraum (52) zu fördern, so daß bei der wenigstens einen Voreinspritzung bis zum Zeitpunkt des Schließens des Einspritzventilglieds (28) eine definierte Kraftstoffmenge eingespritzt wird. 5
10. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Pumpenkolben (18) durch einen Nocken (20) angetrieben wird, daß der Nocken (20) in einem ersten Drehwinkelbereich eine derart bestimmte Form aufweist, daß der Pumpenkolben (18) einen definierten Förderhub ausführt und eine definierte Kraftstoffmenge in den Druckraum (40) und den Steuerdruckraum (52) fördert, die bei der Voreinspritzung eingespritzt wird, und daß der Nocken (20) in einem anschließenden Drehwinkelbereich eine derart bestimmte Form aufweist, daß der Pumpenkolben (18) keinen weiteren Förderhub ausführt. 10 20 25
11. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** während des Förderhubs des Pumpenkolbens (18) nach der wenigstens einen Voreinspritzung das erste Steuerventil (60;160) in seine zweite Schaltstellung gebracht wird, daß das zweite Steuerventil (68) geschlossen wird, und daß für eine nachfolgende Haupteinspritzung das zweite Steuerventil (68) geöffnet wird, so daß der Steuerdruckraum (52) entlastet ist und das Einspritzventilglied (28) durch den im Druckraum (40) herrschenden Druck öffnet. 30 35 40
12. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** während des Förderhubs des Pumpenkolbens (18) nach der wenigstens einen Voreinspritzung das erste Steuerventil (60;160) in seine zweite Schaltstellung gebracht wird und das zweite Steuerventil (68) geöffnet wird, so daß der Steuerdruckraum (52) entlastet ist und daß eine nachfolgende Haupteinspritzung erfolgt, wenn der durch den Pumpenkolben (18) im Druckraum (40) erzeugte Druck so hoch ist, daß durch diesen das Einspritzventilglied (28) gegen die Schließkraft (44) öffnet. 45 50 55
13. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Beendigung der Haupteinspritzung das zweite Steuer-

ventil (68) geschlossen wird.

14. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** nach der Haupteinspritzung wenigstens eine Nacheinspritzung erfolgt, daß bei der vorhergehenden Haupteinspritzung durch Schließen des zweiten Steuerventils (68) und Schaltung des ersten Steuerventils (60;160) in dessen erste Schaltstellung Kraftstoff unter Druck im Druckraum (40) und im Steuerdruckraum (52) gespeichert wird und daß zur Nacheinspritzung das zweite Steuerventil (68) geöffnet wird, so daß der Steuerdruckraum (52) entlastet ist und das Einspritzventilglied (28) durch den im Druckraum (40) herrschenden Druck öffnet. 15
15. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** nach der Haupteinspritzung wenigstens eine Nacheinspritzung erfolgt, daß zur Druckerzeugung für die Nacheinspritzung das erste Steuerventil (60;160) in seine zweite Schaltstellung gebracht wird und daß zur Nacheinspritzung das zweite Steuerventil (68) geöffnet wird. 20 25
16. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** nach der Haupteinspritzung oder der Nacheinspritzung am Ende eines Einspritzzyklus im Druckraum (40) und im Steuerdruckraum (52) bei geschlossenem zweitem Steuerventil (68) und bei in seiner ersten Schaltstellung angeordnetem erstem Steuerventil (60;160) Kraftstoff unter einem so hohen Druck gespeichert wird, daß dieser ausreichend ist, um bei einem nachfolgenden Einspritzzyklus bei geöffnetem zweitem Steuerventil (68) die Voreinspritzung durchzuführen. 30 35 40
17. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** nach der Haupteinspritzung oder der Nacheinspritzung am Ende eines Einspritzzyklus das zweite Steuerventil (68) geöffnet wird, wenn der Druck im Druckraum (40) infolge einer Leckage so stark gesunken ist, daß die durch diesen auf das Einspritzventilglied (28) in Öffnungsrichtung (29) erzeugte Kraft geringer ist als die auf das Einspritzventilglied (28) wirkende Schließkraft (44). 45 50 55
18. Kraftstoffeinspritzeinrichtung nach Anspruch 2 und einem der Ansprüche 4 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** das erste Steuerventil (160) bei Beendigung einer Kraftstoffeinspritzung in seine dritte Schaltstellung gebracht wird.

Fig. 1

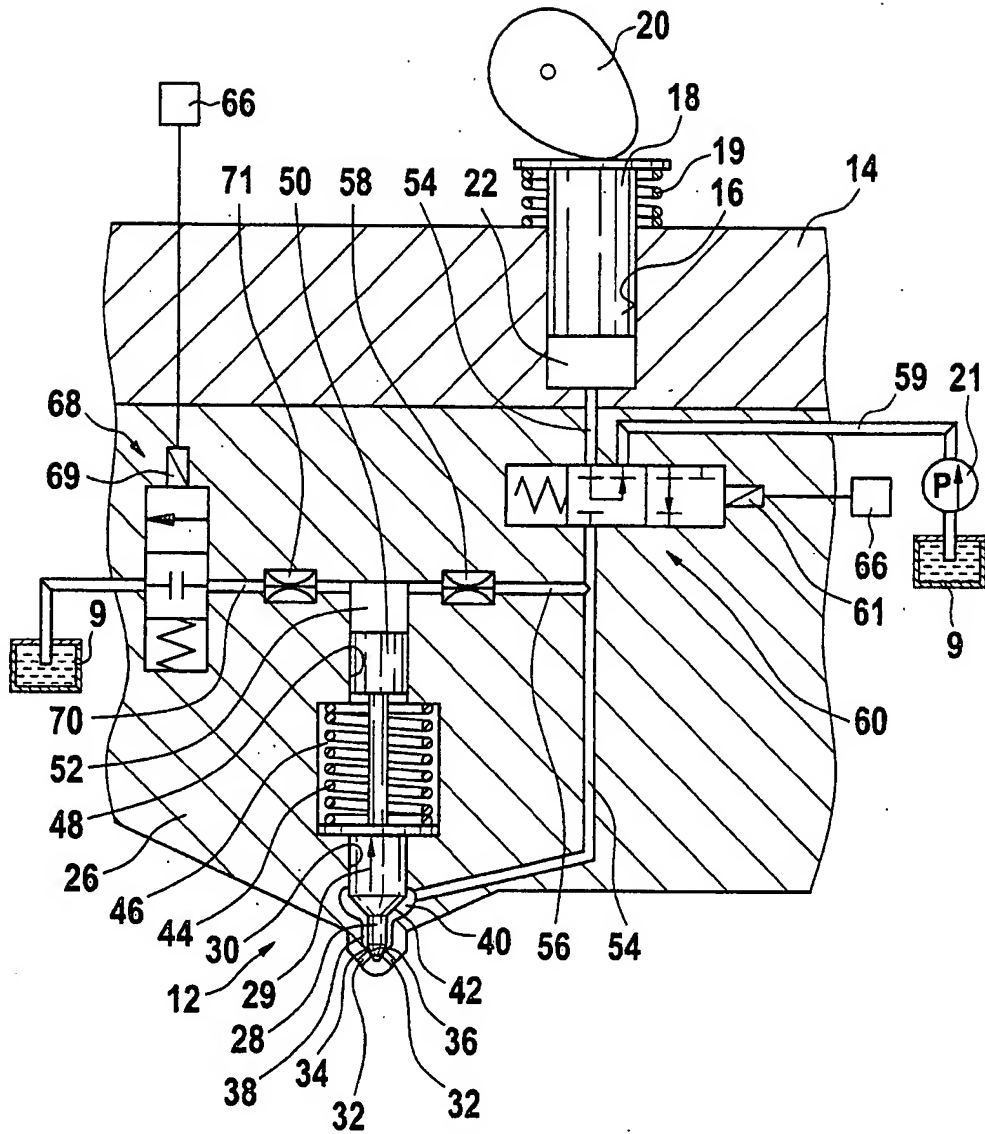


Fig. 2

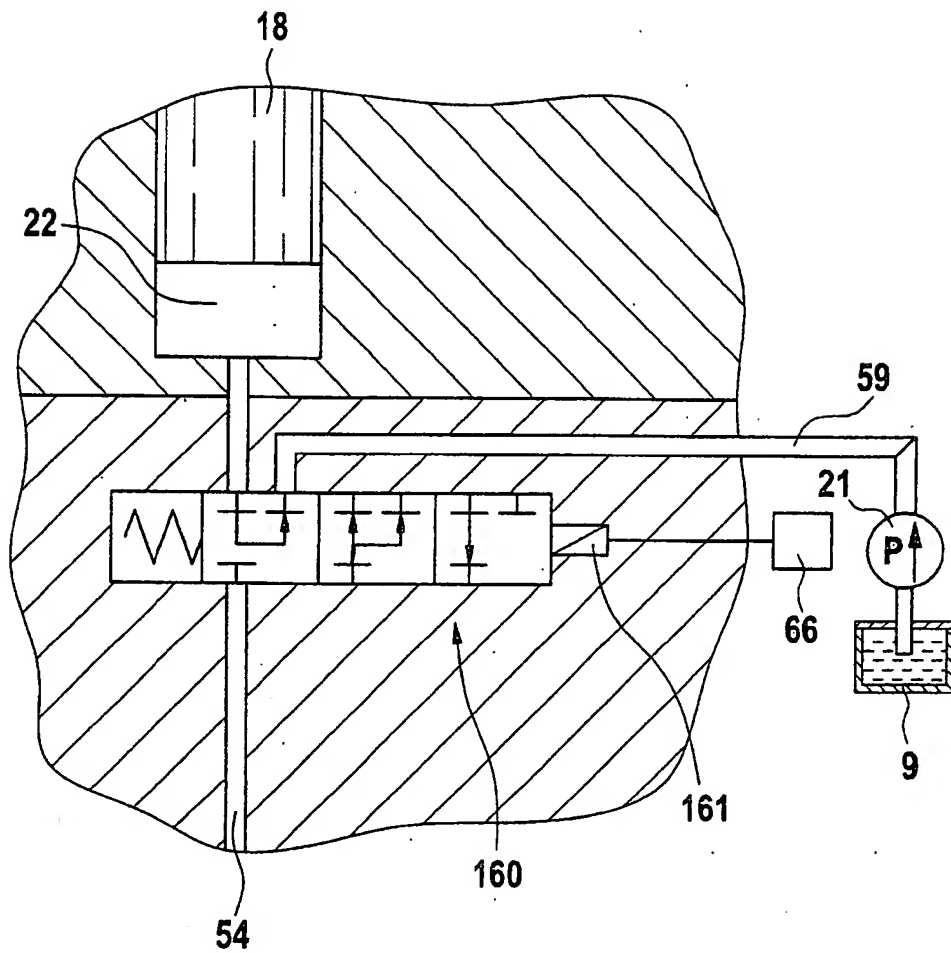


Fig. 3

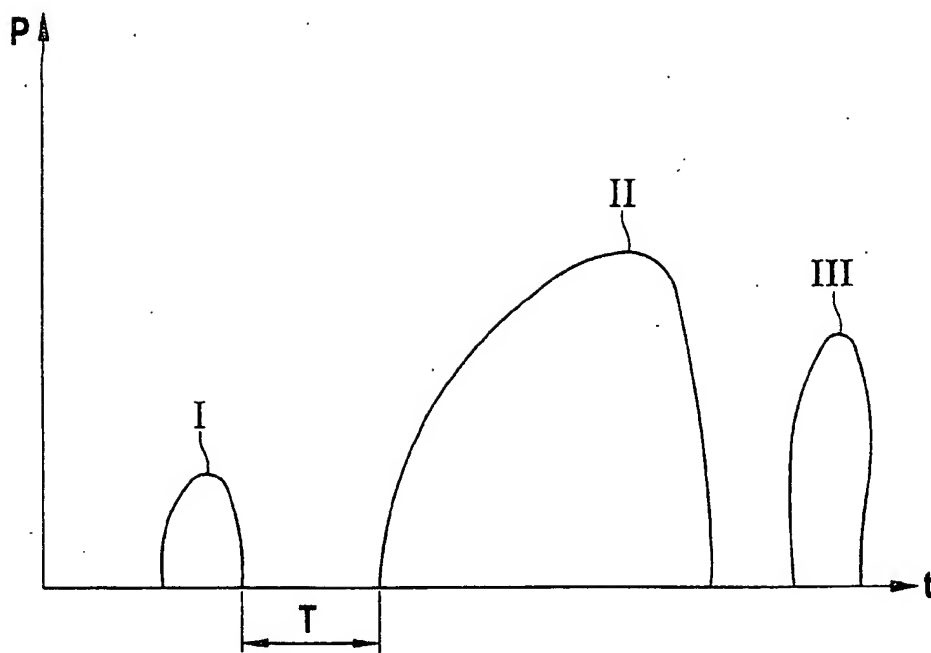


Fig. 4

